La QUINTA OLA del PROGRESO de la HUMANIDAD

"LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE"

SISTEMAS AGROFORESTALES: MECANISMOS DE FINANCIAMIENTO CLIMÁTICO

AGROFORESTRY SYSTEMS: FINANCING MECHANIMS OF CLIMATE

Autores:

Cuiña-Cotarelo, R[1].; Mosquera-Losada, M.R. [2], Rigueiro-Rodríguez, A.

Filiación:

[1] Universidad Agraria del Ecuador. rcuina@uagraria.edu.ec

[2]Departamento de Producción vegetal. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela. 27002. Lugo.

[2]mrosa.mosquera.losada@usc.es

Código: CIEA-EA-SAM-009

Fecha de entrega: 29/abril/2016

Fecha de aprobación: 23/junio/2016

SISTEMAS AGROFORESTALES: MECANISMOS DE FINANCIAMIENTO CLIMÁTICO

AGROFORESTRY SYSTEMS: FINANCING MECHANIMS OF CLIMATE

Autores
Cuiña-Cotarelo, R[1].; rcuina@uagraria.edu.ec
Mosquera-Losada, M.R. [2]; mrosa.mosquera.losada@usc.es
Rigueiro-Rodríguez, A.

Resumen

Los sistemas agroforestales son reconocidos como un tipo de estrategia de secuestro de carbono tanto en tierras agrícolas como en programas de reforestación. La implementación de prácticas agroforestales incrementa el contenido de carbono del suelo en comparación con sistemas exclusivamente agrícolas o forestales. El secuestro de carbono en el suelo puede ser modificado por el tipo de técnica de gestión (encalado, fertilización) aplicada para favorecer la productividad potencial del pasto y del arbolado. El objetivo de este estudio ha sido evaluar el efecto producido por la aplicación en cobertera de 2,5 Mg ha^{-1} de $CaCO_3$ y de dos dosis de lodo de depuradora urbana: 50 y 100 kg ha^{-1} de N total sobre la capacidad de secuestro de carbono de un sistema silvopastoral establecido en suelo ácido y repoblado con Pinus radiata D. Don. El resultado obtenido refleja que después de nueve años de estudio, el sistema silvopastoral establecido vio incrementada su capacidad de fijación de carbono, alcanzándose los mayores valores absolutos del balance final del ciclo de carbono en las parcelas que recibieron el tratamiento B1 NO CAL, aunque de forma no significativa, debido a los mayores aportes de carbono acumulado en el suelo y en la masa arbolada de dicho tratamiento.

Palabras claves: materia orgánica, fertilización, enmiendas calizas, lodo de depuradora urbana.

Abstract

Agroforestry has been recognized to be of special importance as a carbon sequestration strategy because of its applicability in agricultural land as well as in reforestation programs. Agroforestry practices implementation has been found to increase soil organic carbon when compared with young tree plantations and arable crops. Soil carbon sequestration is modified by the management (i.e. liming, fertilization) applied to increase understory and tree production. The objective of this paper was to evaluate to effect produced by lime and two sewage sludge doses comprising 50 (L: low) and 100 (H: high) kg total N ha^{-1} on the amount of carbon sequestration in a silvopastoral system established with Pinus radiata D. Don in an acid soil. Regarding to the contribution of each component of the system to carbon sequestration, the soil was the most important, followed by the trees Control treatment had the highest percentage of carbon in soil,

Keywords: organic matter, fertilizer, lime, sewage sludge

Introducción

El calentamiento global es un fenómeno que genera cada vez mayor preocupación en la comunidad científica internacional (Chacón, Leblanc y Russo, 2007). La existencia de ciclos climáticos en torno a 1100 años, evidencia que las condiciones de cambio climático que dieron entrada al Neolítico e hicieron posible la Agricultura, se repiten en la actualidad reflejándose en un ascenso global de la temperatura.

La celebración de la primera Conferencia Mundial sobre el Clima en el año 1979 reconoce por primera vez que el cambio climático supone un grave problema, llevándose a cabo desde ese momento acciones de diversa índole dirigidas al estudio y mitigación de los efectos antropogénicos relacionados con este fenómeno. Una de estas acciones fue la creación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)) con el fin de proporcionar asesoramiento científico, técnico y socioeconómico para la comunidad mundial y, en particular, para las 170 partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

El estudio experimental del clima y los resultados del análisis del inmenso aporte de los registros meteorológicos, han revelado en los últimos años un calentamiento global ligado al incremento de CO_2 atmosférico (Weart, 2008), gas que más contribuye a incrementar el efecto invernadero, y por ende, el calentamiento global (IPCC, 2006). La concentración de CO_2 en la era preindustrial en el año 1750 era de 280 ppm; sin embargo, tal concentración aumentó a 377,1 ppm para el año 2004 (Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2006). Este fenómeno climático cíclico es inevitable, sumándose al mismo los efectos provocados por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs), los cuales a tenor de la tendencia actual, y si no se detienen, pueden alcanzar niveles que superen umbrales climáticamente críticos para la humanidad (o parte de la misma) (Losada, 2009). Estimaciones del IPCC (2001; 2006) proyectan que en el año 2100, las concentraciones de CO_2 en la atmósfera serán de 540 a 970 ppm.

Para que la humanidad logre combatir el cambio climático, es vital saber qué se emite de todos y cada uno de los gases hacia la atmósfera y qué los elimina de ella. El IPCC (2006) considera que las actuaciones humanas, en particular los cambios de uso de la tierra (forestaciones versus deforestaciones), los incendios forestales, las variaciones de temperatura y precipitaciones, las características edáficas, tanto a escala temporal como espacial, la heterogeneidad del territorio, la condición de tratarse de masas de coníferas o de frondosas, son factores con efectos sobre el contenido y flujo de carbono desde los suelos a la atmósfera y viceversa (Pardos-Carrión, 2010).

Muchas actividades que producen GEIs resultan hoy esenciales para la economía mundial y forman una parte fundamental de la vida (García y Wright, 2007). A este respecto, el reconocimiento expreso en los artículos 3.3 y 3.4 del Protocolo de Kyoto, sobre el papel que representan el uso del suelo, el cambio en el uso del suelo y la forestación y selvicultura ha despertado un interés muy elevado desde un punto de vista selvícola, al entenderse que se abre un enorme abanico de alternativas para incrementar la fijación de carbono, mediante la gestión forestal (Nair, Gordon y Mosquera-Losada, 2008). Actuaciones como la reforestación y la forestación pueden ser fundamentales para la evolución del clima a escala global y a medio plazo en aspectos como el posible efecto sumidero que los bosques o sistemas afines pueden tener, al secuestrar los excedentes de GEIs de un modo temporal (biomasa) y relativamente permanente (suelo), por lo que la captura y almacenamiento de CO_2, es una tecnología de mitigación importante a la que debe unirse la reducción de emisiones por

deforestación y degradación de los bosques (Pardos-Carrión, 2010). Concretamente, los sistemas agroforestales han sido reconocidos por el Protocolo de Kyoto como una estrategia de mitigación de estos gases de efecto invernadero, ya que. Un manejo sostenible de estos sistemas ayudaría al mantenimiento de la estabilidad del clima global ya que remueven grandes cantidades de CO_2 de la atmósfera a medida que crecen los componentes que los conforman (principalmente el componente forestal), almacenando el carbono en la biomasa de sus hojas, ramas, tallos y raíces, además de reducir las emisiones de GEI provenientes de los combustibles fósiles (Cuiña-Cotarelo, 2011; Mosquera-Losada, Freese y Rigueiro-Rodríguez, 2011).

Asimismo, el mercado de carbono surge como una vía complementaria, alternativa y económicamente viable, al compromiso asumido por países, empresas e individuos, de disminuir las emisiones de GEIs. La mayor parte de los reglamentos que limitan las emisiones de GEIs aprovechan esta característica de la "sustitución" y permiten la adquisición de créditos de emisión tanto dentro como fuera de la zona regulada, sentando así las bases para un "mercado de carbono" mundial que representa una oportunidad para generar una mayor eficiencia mundial y para contribuir al desarrollo sostenible atrayendo nuevas inversiones públicas y privadas en tecnologías no contaminantes hacia las economías de transición y los países en desarrollo (IETA, 2005).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto residual del encalado así como de la aplicación de dos dosis de lodo de depuradora urbana en diferentes fechas sobre la capacidad para secuestrar carbono en un sistema silvopastoral establecido en terreno de monte con Pinus radiata D. Don como componente arbóreo.

Material y Métodos

La experiencia fue realizada en el monte comunal de San Breixo, perteneciente a Parga, en el municipio de Guitiriz (Lugo, España), situado a una latitud de 43º 0,92', longitud de 7º 46,9' y a una altitud de 550 m sobre el nivel del mar.

Los análisis de la muestra inicial de suelo indicaron que el suelo de este estudio pertenece al tipo Umbrisol (FAO, 1998), asentado sobre cuarcitas, con textura franco-arcillo-arenosa (63,20 % arena, 20,09% arcilla y 16,71 % limo).

El diseño experimental era de bloques al azar con tres réplicas. Se aplicaron 5 tratamientos en los que existe combinación de encalado (C) (2,5 Mg ha^{-1} de caliza dolomítica molida) y no encalado, con dos dosis de lodo de depuradora que implicaban 50 (B: baja) y 100 kg (A: alta) de N total ha-1, aplicadas de forma continuada y en el mes de febrero durante los años 2000, 2001, 2002, 2003 y 2004. Además, se estableció un tratamiento control (NF) que consistió en la ausencia de encalado y fertilización. El lodo se aplicó de forma manual y en cobertera. Este fango está tratado y estabilizado de forma anaeróbica y cumple los requisitos necesarios para ser usado en agricultura (RD 1310/1990).

El balance final de carbono (Mg C ha^{-1} $año^{-1}$) en el sistema silvopastoral se determinó como la diferencia entre el carbono fijado por el arbolado, por el pasto y por el suelo y el emitido por el suelo y el ganado. Puntualizar, que para el cálculo del balance de carbono se tuvo en cuenta que el carbono se va almacenando en el árbol con el paso del tiempo, mientras que en el suelo, la materia orgánica cambia de año a año, y en el pasto el carbono fijado puede eliminarse del sistema mediante la siega o mediante el pastoreo de los animales. Por este motivo, por el carbono fijado en el sistema por estos componentes se calculó como la diferencia entre el carbono obtenido en el

último año de estudio y el obtenido durante el primer año, dividido entre el número total de años de duración de la experiencia (Mg C ha^{-1} $año^{-1}$). Sin embargo, para determinar las pérdidas de carbono originadas por el ganado (Steinfeld et al. 2006) se emplearon los datos de carga ganadera media (CG) para los nueve años que duró esta experiencia.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables obtenidas fueron analizadas mediante el empleo del ANOVA y las medias se separaron mediante el test LSD, para lo que se utilizó el paquete estadístico SAS (2001).

S

La cuantificación del balance emisión-captura de carbono entre los diferentes componentes del sistema silvopastoral y la atmósfera, es uno de los principales retos que se plantean si se quiere incorporar la fijación de carbono como un objetivo más de la gestión forestal (Montero, Ruiz-Peinado y Muñoz, 2005; Van Minnen et al. 2009). Así, y teniendo en cuenta cada uno de los componentes que constituyen el sistema silvopastoral establecido en esta experiencia (arbolado, pinocha, pasto, animales y suelo), se ha estimado el balance final del ciclo de carbono en cada uno de los tratamientos evaluados (Tabla 1).

El resultado del análisis de varianza realizado nos indica que los diferentes tratamientos evaluados no influyeron de forma significativa sobre el contenido de carbono acumulado por el sistema silvopastoral durante el periodo de tiempo analizado (2000-2008).

Tabla 1. BALANCE DEL CICLO DE CARBONO (MG C HA-1 AÑO-1) DURANTE EL PERIODO DE TIEMPO ESTUDIADO (2000-2008) EN EL SISTEMA SILVOPASTORAL ESTABLECIDO. DONDE: CAL: 2,5 MG CACO3; B: DOSIS BAJA DE LODO (50 KG HA-1 DE N TOTAL); A: DOSIS ALTA DE LODO (100 KG HA-1 DE N TOTAL); NF: NO FERTILIZADO; 1: FECHA DE APLICACIÓN DEL LODO CORRESPONDIENTE AL MES DE FEBRERO.

TRATAMIENTOS		ÁRBOL (Mg C ha^{-1} $año^{-1}$)			PASTO (Mg C ha^{-1} $año^{-1}$)		SUELO (25 cm) (Mg C ha^{-1} $año^{-1}$)	GANADO		SUELO	BALANCE DE CARBONO (Mg C ha^{-1} $año^{-1}$)
		Parte aérea	Pinocha	Parte radical	Parte aérea	Parte radical		Emisiones de CH_4 (Mg C ha^{-1} $año^{-1}$)	Emisiones de NO_2 (Mg C ha^{-1} $año^{-1}$)	Emisiones de NO_2 (Mg C ha^{-1} $año^{-1}$)	
CAL	B1	4,36	0,16	1,52	0,12	0,31	5,91	0,15	0,11	0,23	11,89
	A1	5,89	0,23	1,96	0,10	0,23	1,33	0,13	0,10	0,26	9,25
NO CAL	B1	7,94	0,17	2,56	0,17	0,32	7,49	0,16	0,12	0,24	18,13
	A1	4,34	0,15	1,52	0,15	0,26	2,15	0,15	0,11	0,28	8,03
NF		2,72	0,11	1,01	0,21	0,18	4,92	0,21	0,16	0,26	8,52

El balance final de secuestro de carbono después de nueve años de estudio estuvo comprendido entre 8,03 y 18,13 Mg C ha^{-1} $año^{-1}$ (Tabla 1). El sistema silvopastoral establecido por Fernández-Núñez, Mosquera-Losada y Rigueiro-Rodríguez (2010) en terreno agrícola sin fertilizar superó en un 34% y en un 12% (cuando se repobló con pino radiata a marco 2

x 2 m y 3 x 4 m, respectivamente) a la capacidad de secuestro de carbono de nuestro sistema, debido a la mayor fertilidad del suelo y al mayor crecimiento del arbolado en suelo agrícola, como consecuencia de la mejor calidad de estación. Además, en el caso del suelo agrícola, los niveles iniciales de carbono son más bajos que en nuestro caso, lo que incrementa el impacto del establecimiento del arbolado sobre el contenido de carbono edáfico. Sin embargo, la capacidad de secuestro de carbono en nuestro sistema silvopastoral superó, en más del doble, a la capacidad de secuestro de carbono descrita por Fernández-Núñez et al. (2010) en terreno agrícola repoblado con Betula pubescens L. (4,10 Mg C ha^{-1} $año^{-1}$) y a la obtenida por Gordon et al. (2005) cuando la especie arbórea empleada fue Populus sp (2,67 Mg C ha^{-1} $año^{-1}$), destacando, por lo tanto, la importancia de la adecuada selección de la especie arbolada con el objeto de incrementar el secuestro de carbono a escala global (Jandl et al. 2007; Reynolds et al. 2007).

De forma general, e independientemente del tratamiento aplicado, el estrato arbolado y el suelo presentaron la mayor capacidad de fijación de carbono, aunque de forma no significativa, como encontraron Fernández-Núñez et al. (2010) en terreno agrícola reforestado.

Por otro lado, las pérdidas de carbono producidas por el ganado fueron muy bajas, debido a la baja capacidad de carga ganadera media que sostiene este sistema silvopastoral. De hecho, en la mayor parte de los casos, las pérdidas de carbono se compensaron con el carbono secuestrado por el pasto y por las acículas (Vesterdal, Ritter y Gundersen, 2002), coincidiendo con lo observado por Fernández-Núñez et al. (2010) en terreno agrícola.

Asimismo, y coincidiendo con lo señalado por Dixon (1995) y Fernández-Núñez et al. (2010), autores que obtuvieron un aumento de la fijación de carbono al transformar zonas agrícolas en zonas arboladas, la contribución del pasto al balance total de carbono fue muy reducida, no superando en ningún caso el 2,5 %, debido a la mayor capacidad de secuestro de carbono por parte del arbolado.

Los efectos de los diversos usos de la tierra en el secuestro de carbono han sido también objeto de estudio, con especial atención en el trópico. Así, en el trabajo de Kirby y Potvin (2007), al comparar tres clases de uso de la tierra en el trópico (bosque manejado, sistema agroforestal y pastizal) encuentran sustanciales diferencias en el contenido en carbono de los tres ecosistemas (335 Mg C ha^{-1}, 145 Mg C ha^{-1} y 46 Mg C ha^{-1}, respectivamente), lo que evidencia que la protección de los bosques, evitando su conversión en pastizal, tiene un efecto muy positivo en el potencial de secuestro de carbono. Sin embargo, dado que las especies que más contribuyen son también las más apreciadas para su aprovechamiento maderero, los autores son más favorables al sistema agroforestal, como mejor equilibrio entre el secuestro de carbono y el mantenimiento de la biodiversidad (Pardos-Carrión, 2010).

Conclusiones

Después de nueve años de estudio, el sistema silvopastoral establecido en esta experiencia vio incrementada su capacidad de fijación de carbono, siendo la contribución porcentual de cada uno de los compartimentos estudiados a la fijación de carbono atmosférico durante el último año de estudio la siguiente: suelo > arbolado > pasto herbáceo, alcanzándose los mayores valores absolutos del balance final del ciclo de carbono en las parcelas que recibieron el tratamiento B1 NO CAL, aunque de forma no significativa, debido a los mayores aportes de carbono acumulado en el suelo y en la masa arbolada de dicho tratamiento.

Referencias Bibliográficas

Chacón, P., Leblanc, H.A y Russo, R.O. (2007). Fijación de carbono en un bosque secundario de la región tropical húmeda de Costa Rica. Tierra Tropical. 3 (1): 1-11.

Cuiña-Cotarelo, R. (2011). Efecto residual del encalado y de la fertilización con lodos de depuradora urbana sobre los diferentes componentes de un sistema silvopastoral establecido con Pinus radiata D. Don en Galicia. Tesis doctoral

Dixon, R.K. (1995). Agroforestry systems: sources or skinks of greenhouse gases? Agroforestry systems. 31: 99-116

FAO (1998). World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports. 169 p

Fernández-Núñez, E., Rigueiro-Rodríguez, A., Mosquera-Losada, M.R. (2010). Carbon allocation dynamics one decade after afforestation with Pinus radiata D. Don and Betula alba L. under two stand densities in NW Spain. Ecological Engineering. 36 (7): 876-890

García, A. y Wright, C. (2007). Efectos del medio ambiente sobre los requerimientos nutricionales del ganado en pastoreo. Sitio Argentino de Producción Animal. http://agbiopubs.sdstate.edu/articles/ExEx4037-S.pdf

IETA (2005). Situación y tendencias del mercado de carbono http://carbonfinance.org/docs/CarbonMarket2005Spanish.pdf.

Intergovernmental panel on climate change (IPCC) (2001). Tercer Informe de evaluación cambio climático 2001, la base científica (Resumen para responsables de políticas y Resumen técnico). Ginebra, CH. 94 p.

Intergovernmental panel on climate change (IPCC) (2006). Reporting Instructions Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory. Intergovenmental Panel on Climate Change

Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagerdom, F., Johnson, D.W., Minkkinen, K., Byrne, K.A. (2007). How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? Geoderma. 137: 253-268

Kirby, K.R. y Potvin, C. (2007). Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. Forest Ecology and Management. 246 (2-3): 208-221

Losada, M.A. (2009). Variabilidad climática, procesos litorales y evolución de costas. RAI. Seminario. Madrid

Mosquera-Losada, M.R., Freese, D.y Rigueiro-Rodríguez, A. (2011). C sequestration in European A.F systems. Advances in Agroforestry. 8: 43-59.

Montero, G., Ruiz-Peinado, R., Muñoz, M. (2005). Producción de biomasa y fijación de CO2 por los bosques españoles. Monografía INIA: Serie forestal, nº 13.

Nair, P.K.R., Gordon, A.M., y Mosquera-Losada, M.R. (2008). Agroforestry. En: S.E Jorgensen, B.D. Fath. (Eds). Ecological Engineering, Encyclopedia of Ecology. Nº 1. Oxford. 101-110: Elsevier.

Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2006). The state of greenhouse gases in the atmosphere using global observations up to December 2004. Greenhouse Gas Bulletin 1:14

Pardos-Carrión, J. A. (2010). Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Ministerio de Ciencia e Innovación. Madrid. 253 p

Reynolds, P.E., Simpson, J.A., Thevathasan, N.V., Gordon, A.M. (2007). Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in southern Ontario, Canada. Ecological Engineer. 29: 362-371

SAS (2001). SAS/Stat User´s Guide: Statistics. Ed. SAS Institute Inc. Cary, NC (USA).

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., De Haan, C. (2006). Livestock's long Shadow, Environmental issues and options. LEAD-FAO, Roma.

Van Minnen, J.G., Klein, K., Stehfest, E., Eickhourt, B., Van Drecht, G., Leemans, R. (2009). The importance of three centuries of land-use change for the global and regional terrestrial carbon cycle. Climatic Change. 97: 123-144

Vesterdal, L., Ritter, E., Gundersen, P. (2002). Change in soil organic carbon following afforestation of former arable land. Forest Ecology and Management. 169 (1-2): 137-147

Weart, S. (2008). The Discovery of global warming. Harvard University Press, 2nd Edition. 200 p